

# 小型二足ロボットの スケート運動

～パラメータ最適化による減速、停止の実現～

杉内研究室  
19NA139  
渋井研人

# 二足歩行ロボットについて

## ・現状

災害現場など人の立ち入れない場所での作業ロボットには主に二足歩行と車輪駆動がある

## ・二足歩行ロボットの利点

立体的な移動が可能(段差の踏破)

## ・欠点

車輪駆動のロボットに比べ以下の問題点がある

- ・移動速度が遅い
- ・重心が高くバランスがとりづらい為、移動の際バランスをとるため全身を協調させる必要がありエネルギー効率が悪い

## 研究の目的

平面移動において移動速度を高め、エネルギー効率を改善することを目的に研究を行っている

## 研究の方向性

平面移動においてスケート運動の仕組みを取り入れることで改善を図る

# 研究の内容・目的

## 【研究内容】

スケート運動で移動する小型二足ロボットの開発

### スケート運動の利点

- ・ 歩行方式よりも移動速度が向上
- ・ 単純な動作・機構で実現できるので省エネルギー

### 本研究の目標

**小型二足ロボットで単純な原理・構造での安定したスケート運動を実現する**

### 将来における発展性

多自由度・多関節のより複雑なロボットでの応用

# 現在の課題点

## 課題点

- ・ **減速と停止動作**ができないことから二足歩行ロボットの利点が生かせない



## 仮説

- ・ 実際のスケートで用いられている手法が応用できる可能性



## 解決策

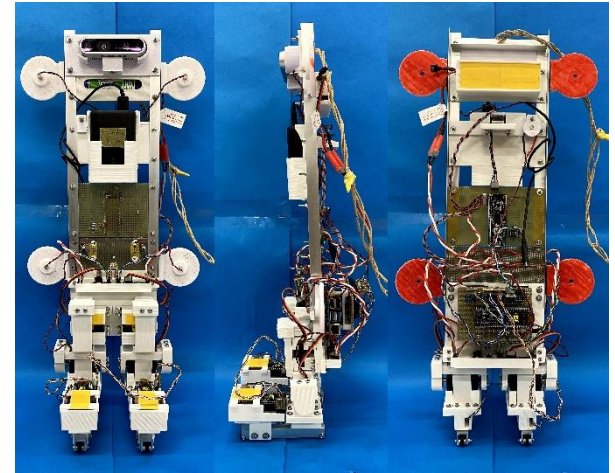
- ・ シミュレーションを用いてスケートロボットが実現可能な停止方法を探索する

# 開発したロボット及び使用するシミュレータ

- 開発したロボット

## Penguinkun4号機

弊研究室で開発されたスケートロボット  
現在は直進滑走が可能となっている

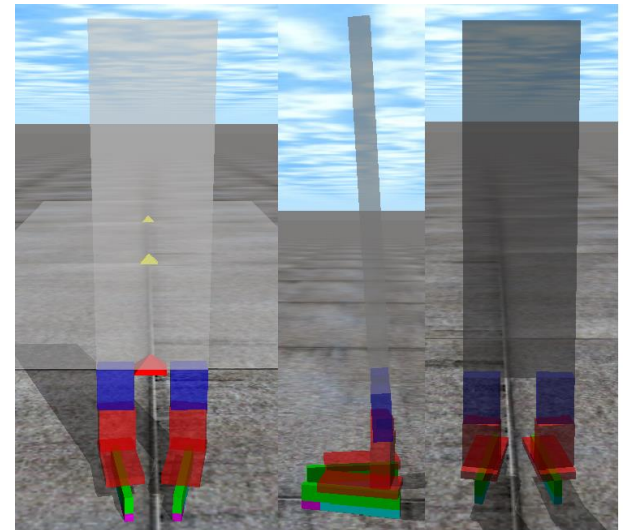


Penguinkun4号機

- シミュレータ

## Open Dynamics Engine(ODE)

開発をシミュレーションで事前に行うことで  
実機での実験の際転倒などによる機体の破損が  
起きる可能性を下げる目的



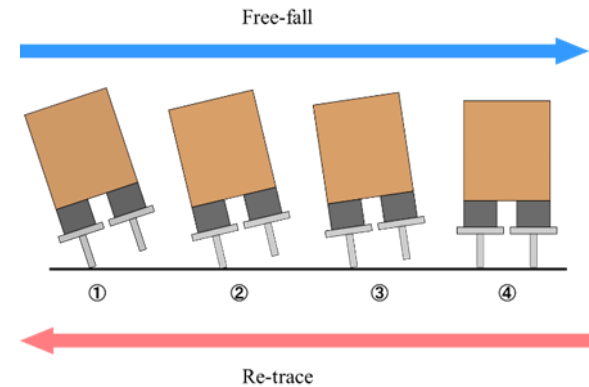
Penguinkun4号機を基としたモデル

# 停止方法の提案(1)

## スケートロボットの滑走を行う理論

- 揺動運動

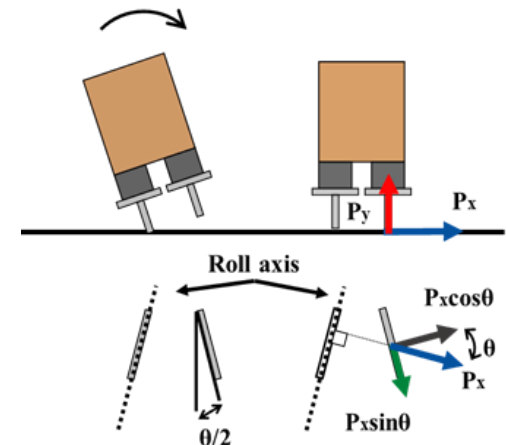
スケートロボットは揺動運動を行い前進する  
地面を蹴る際に失われた運動エネルギーを補う



スケートロボットの滑走方法

- 接地時の撃力を用いた推進法

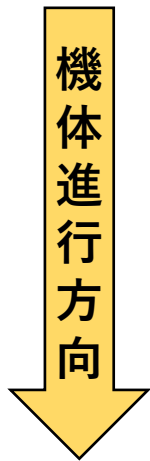
スケートロボットは接地時の撃力を用いて前進する



スケートロボットの推進の原理

# 停止方法の提案(2)

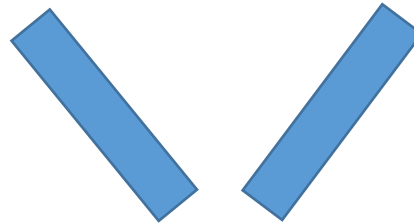
既存のスケートで用いられているブレーキをかける方法



・ 二の字



・ ハの字



・ 逆Tの字



**共通点**

- ・ **摩擦**を用いて減速を行っている

# 停止方法の提案(3)

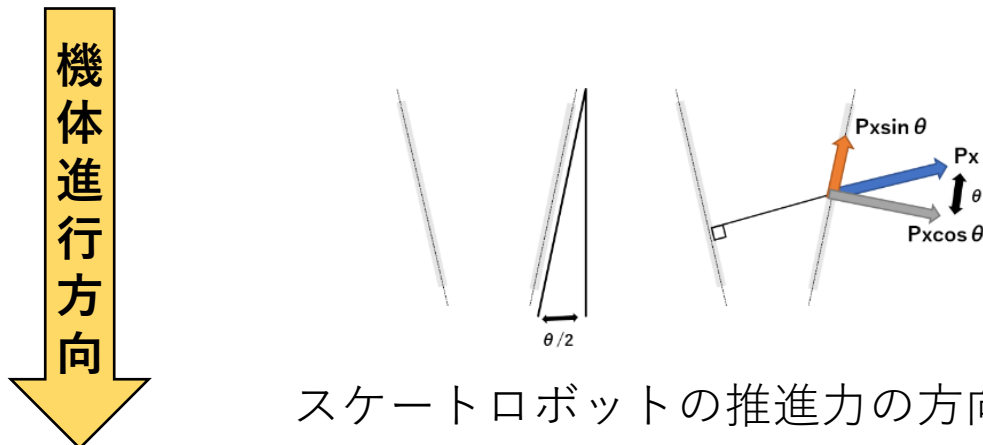
## 新しい減速・停止方法の考案

- ・ 接地時のブレードの角度の変更

ブレードが地面接地時図のように角度変えることで発生する撃力のベクトルを進行方向に対して逆向きにする

- ・ 両足行うことでブレードの形をハの字と同様にする

ブレードを片足ずつ接地時に角度を変えることでバランスを崩さず自然にハの字の形にし、摩擦による減速を行う



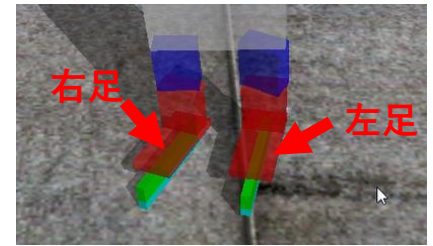
スケートロボットの推進力の方向の変更



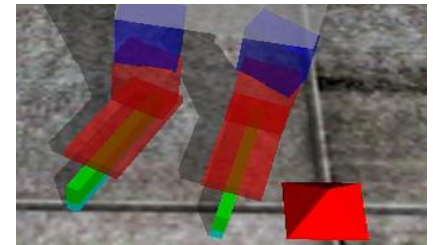
# 停止方法の提案(4)

## 具体的な手順

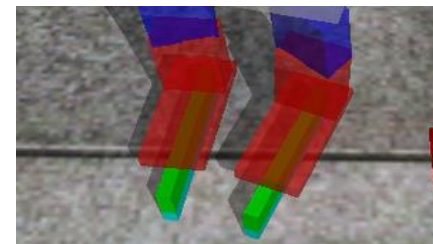
- ① 遊脚接地の際、ブレードの角度をハの字になるようにする
- ② 軸足を通常の滑走と同様に蹴り上げる
- ③ 遊脚(元々軸足)接地の際、ブレードの角度をハの字になるようにする
- ④ ヨー角のモータを位置制御し摩擦によって発生するトルクでブレードがずれるのを防止する



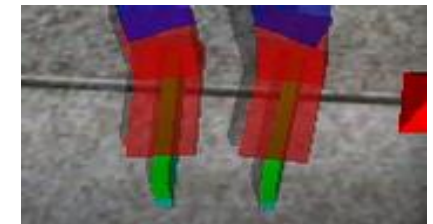
①遊脚(左足)の角度調節



②軸足(右足)の蹴り上げ



③遊脚(右足)の角度調節



④両足のヨー角のモータを位置制御

# 結果の評価

本研究はより良い停止を行うパラメータの探索である。より良い停止とは停止動作の開始から実際に止まるまでの時間が早いことを指す

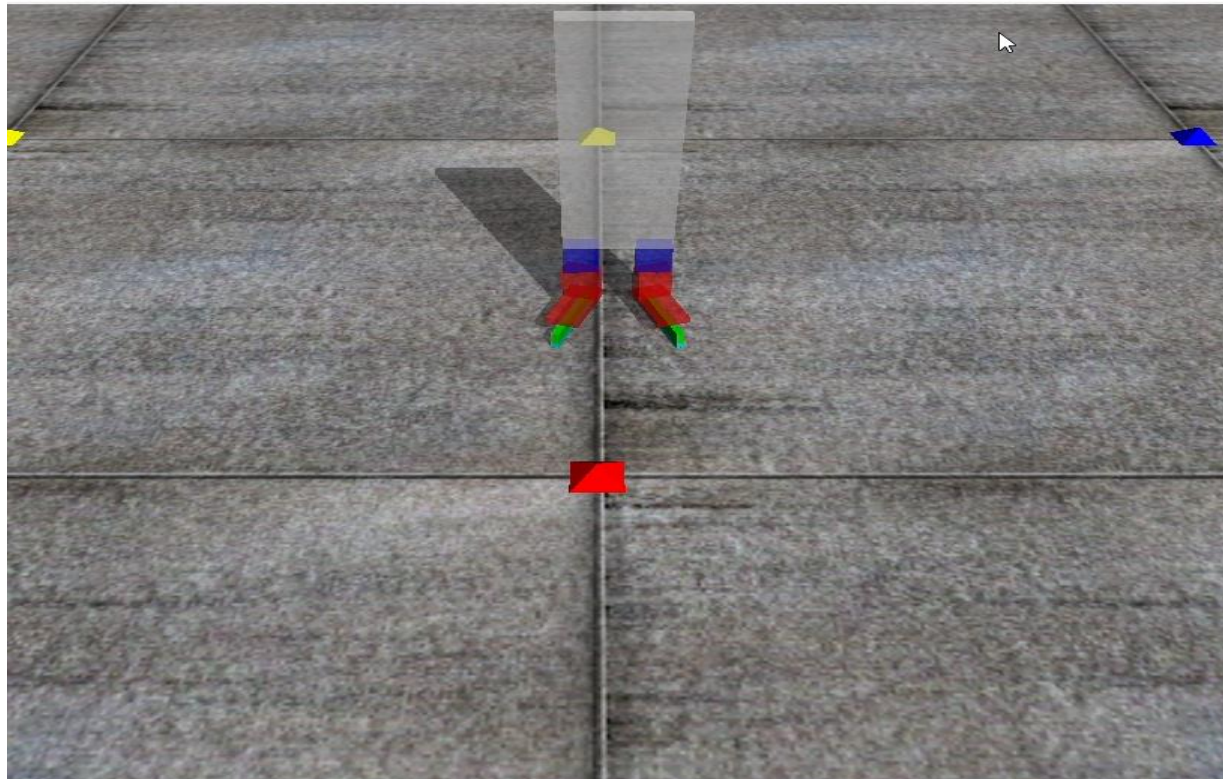
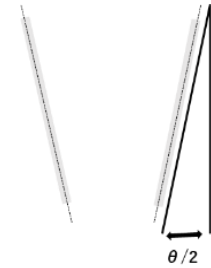
- 機体が停止動作を始める5回目のstrokeから停止するまでの時間
- 機体の停止動作の成功失敗

# シミュレーション(1)

## ODEでのシミュレーション

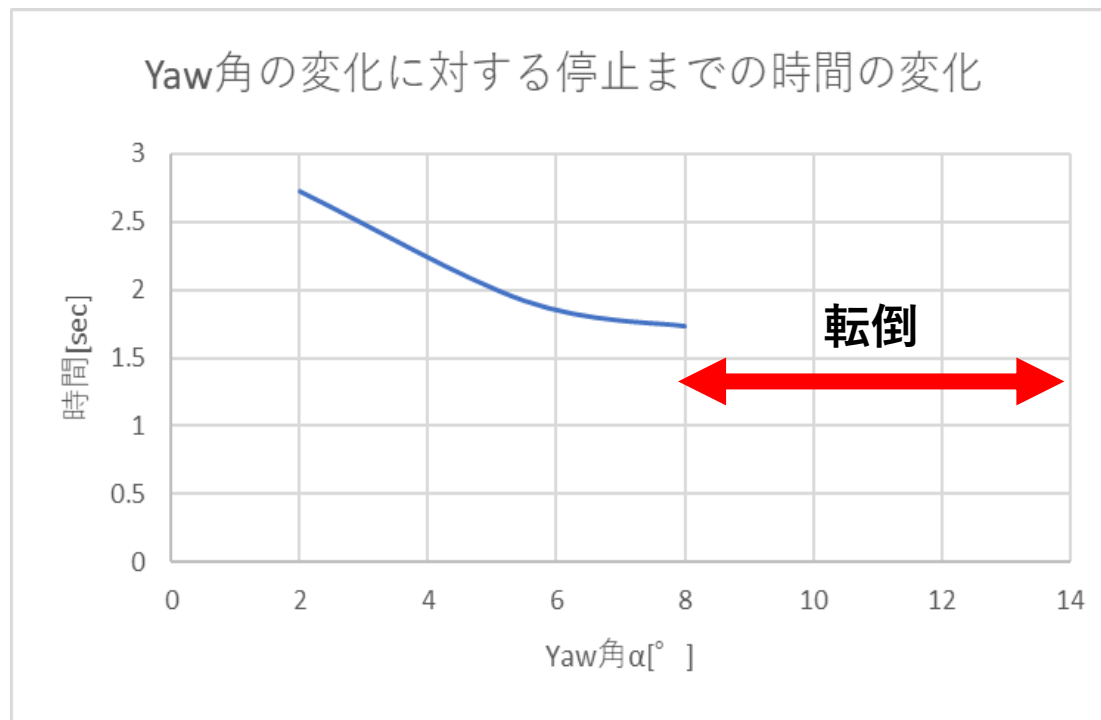
ブレーキに大きな影響を与えるYaw角: $\theta/2$ の大きさと停止までの影響を見る.

$$0^\circ < \theta/2 < 15^\circ$$



# シミュレーション(2)

## 結果

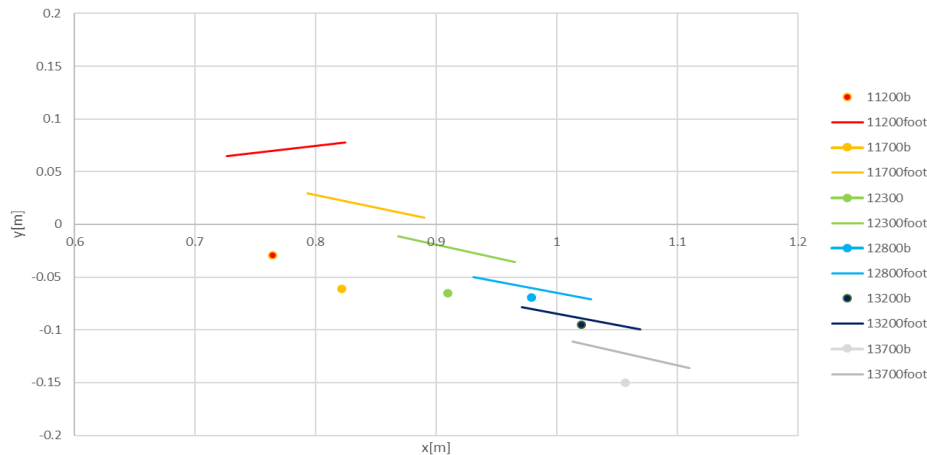


Yaw角を大きくするにつれて停止までの時間は減少した  
 $8^\circ$  以上の際は転倒を確認した。

# シミュレーション(3)

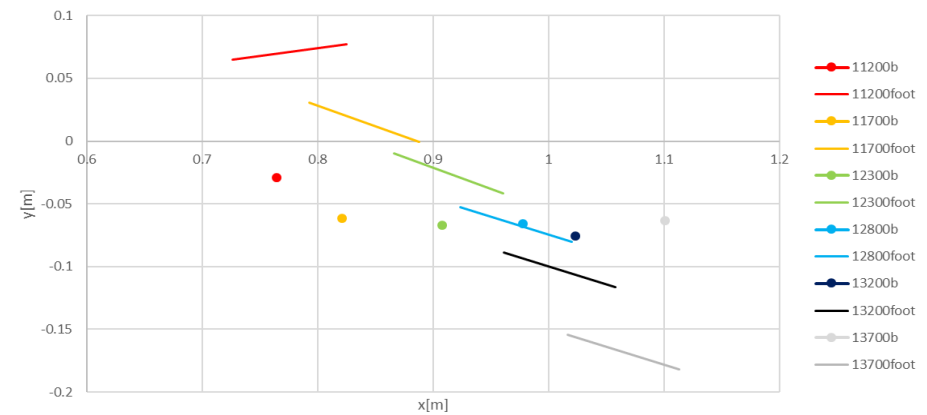
## 転倒の原因

左遊脚接地時の機体重心と左ブレードの位置の変化



停止成功

左遊脚接地時の機体重心と左ブレードの位置の変化



転倒

転倒の原因は重心位置が揺動の回転軸を超えたためである。  
転倒を抑制するには重心位置を調節する必要がある。

次に前傾角を小さくすることで

- ・ 慣性モーメントを大きくしroll角を小さくする
- ・ ブレーキ時の慣性により前に転倒するのを防止する

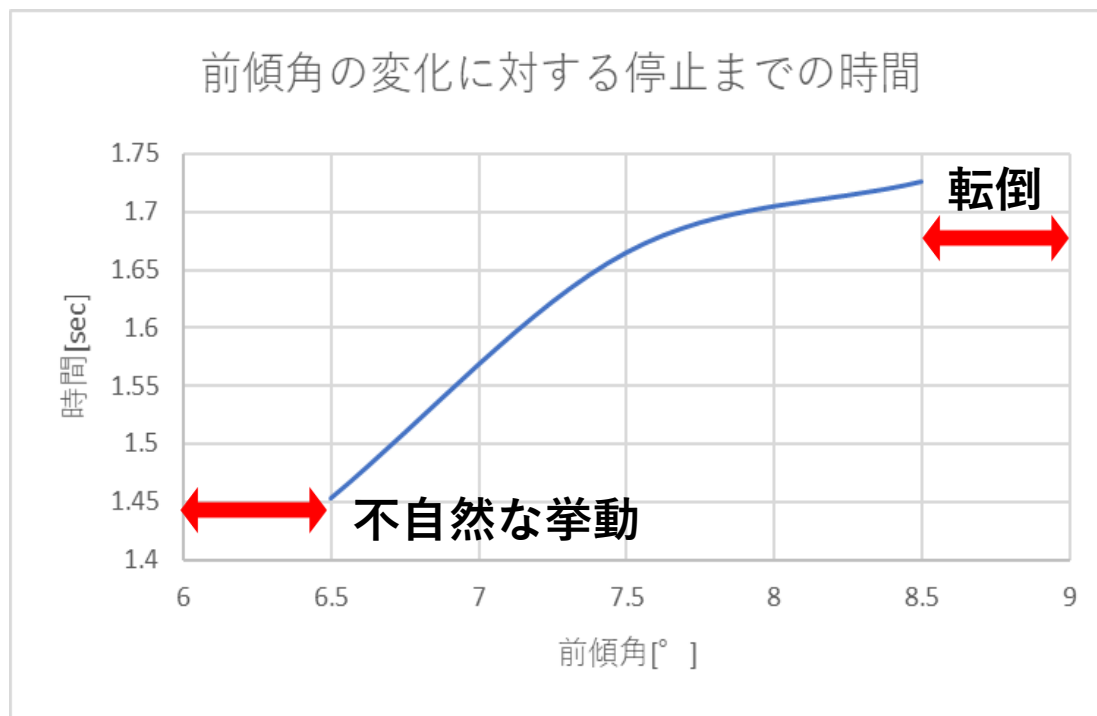
# シミュレーション(5)

## ODEでのシミュレーション

前傾角: $\beta$ の大きさと停止までの影響を見る

$$0^\circ < \beta < 9^\circ$$

Yaw角を先ほど転倒した $10^\circ$ に固定した



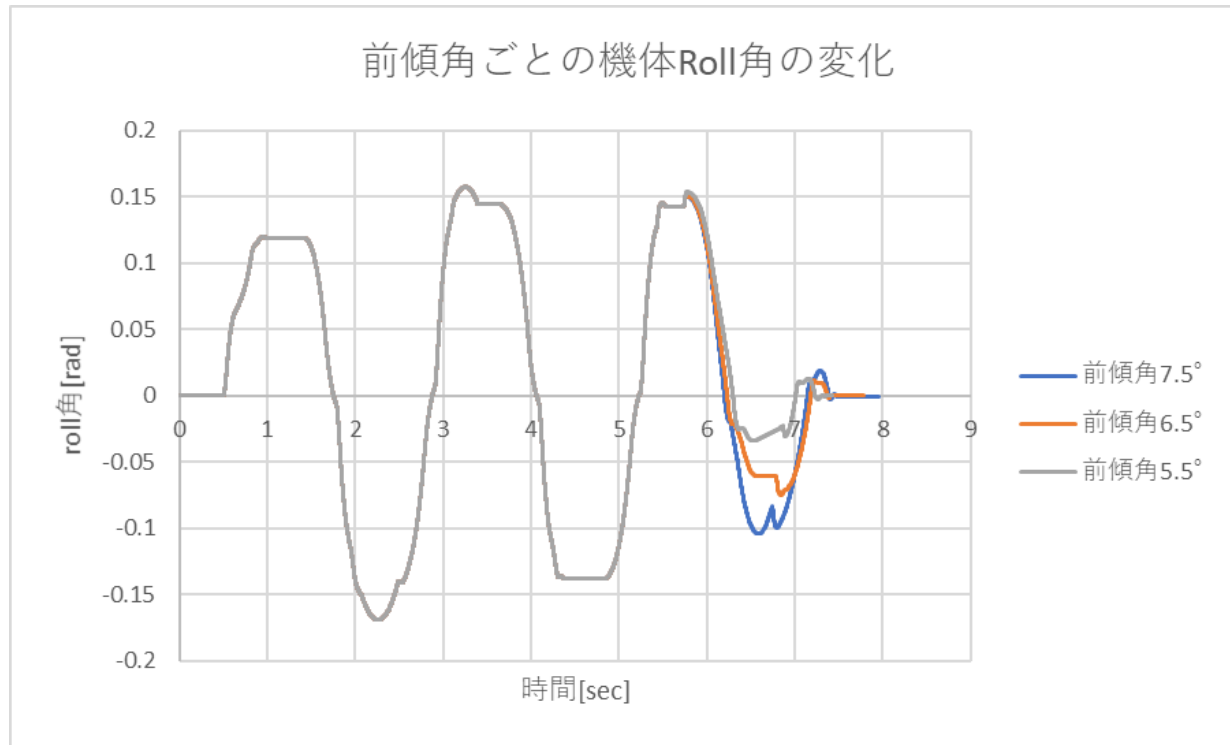
前傾角を小さくするにつれて停止までの時間は減少した。

前傾角を小さくすることで転倒を抑制できた

$6.5^\circ$  以下の際は右足の蹴り動作が不自然になり停止に失敗した

# シミュレーション(7)

## 蹴り動作失敗の原因



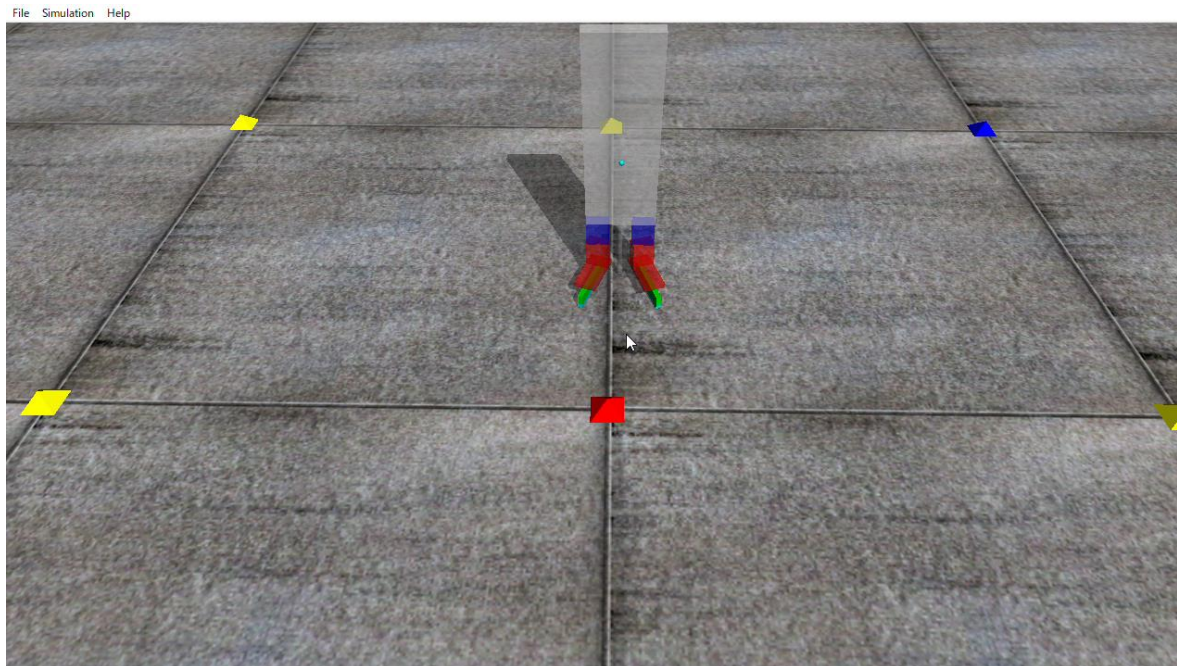
蹴り動作失敗の原因は前傾角を小さくすると同時に機体の揺動が小さくなっていることが原因である

# シミュレーション(8)

## 最適パラメータの探索

シミュレーションの結果を基に最適なパラメータの探索を行った

Yaw角[° ]	前傾角[° ]	機体の挙動	停止までの時間[sec]
15	7.5	転倒	
15	7.0	転倒	
15	6.75	停止成功	1.387
15	6.5	不自然な挙動	





# 結論

- ・ 減速・停止は可能になった
- ・ より早く停止するためのパラメータを把握した

# 展望

- 今回得られたシミュレーションの結果を基に実機において停止動作を実現する必要がある
- 実機の構成を改善することで機体の自由度を上げ、可能な動作を増やすことでより様々な方法で停止が可能になると考えられる